

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-266027

(43)Date of publication of application : 28.09.1999

(51)Int.Cl.

H01L 31/04

(21)Application number : 10-066546

(71)Applicant : KANEGAFUCHI CHEM IND CO LTD

(22)Date of filing : 17.03.1998

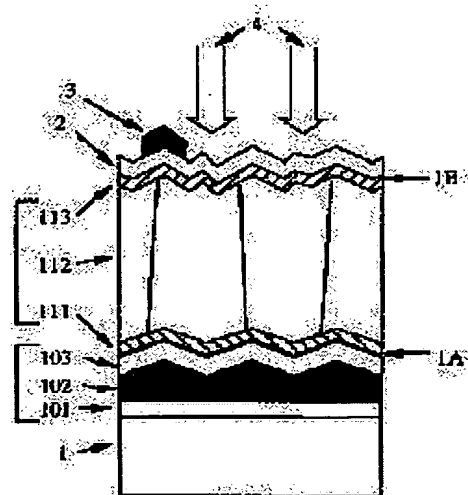
(72)Inventor :  
YOSHIMI MASASHI  
TAWADA HIROKO  
YAMAMOTO KENJI

## (54) SILICON THIN-FILM PHOTOELECTRIC CONVERSION DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To realize reduction in the cost of a photoelectric conversion device, comprising a crystalline silicon thin-film photoelectric conversion layer, which is formed using a low-temperature process by a plasma CVD method, and an increase in the performance of the device.

**SOLUTION:** A silicon thin-film photoelectric conversion device comprises a rear electrode 10, at least one semiconductor photoelectric conversion unit 11 and a front surface transparent electrode 2, which are laminated sequentially on a substrate 1, the electrode 10 contains metal layers 101 and 102 and a transparent conductive oxide layer 103, which are laminated sequentially on the substrate 1, this layer 103 is one formed by a vapor phase deposition method at a base temperature within the range of a temperature of 100 to 450° C and has crystal grains of a mean crystal grain diameter of 100 nm or longer, and the unit 11 comprises a one conductivity type layer 111, a crystalline silicon thin film photoelectric conversion layer 112 and an opposite conductivity type layer 113, which are deposited sequentially on the layer 103 by a CVD method.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-266027

(43)公開日 平成11年(1999) 9月28日

(51)Int.Cl.<sup>9</sup>  
H 0 1 L 31/04

識別記号

F I  
H 0 1 L 31/04

A

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平10-66546

(22)出願日 平成10年(1998) 3月17日

(71)出願人 000000941

鐘淵化学工業株式会社

大阪府大阪市北区中之島3丁目2番4号

(72)発明者 吉見 雅士

神戸市須磨区北落合1-1-324-403

(72)発明者 多和田 裕子

明石市西明石北町3丁目3-26-201

(72)発明者 山本 憲治

神戸市西区美賀多台1丁目 2-W1406

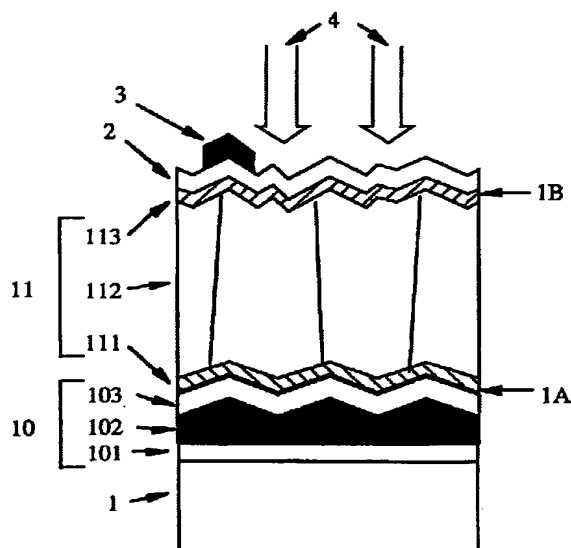
(74)代理人 弁理士 深見 久郎 (外2名)

(54)【発明の名称】 シリコン系薄膜光電変換装置

(57)【要約】

【課題】 プラズマCVD法による低温プロセスを用いて形成される結晶質シリコン系薄膜光電変換層を含む光電変換装置の低コスト化と高性能化を図る。

【解決手段】 シリコン系薄膜光電変換装置は、基板1上に順次に積層された裏面電極10、少なくとも1つの半導体光電変換ユニット11、および前面透明電極2を含み、裏面電極10は順次に積層された金属層101、102と透明導電性酸化物層103を含み、この透明導電性酸化物層103は100～450℃の範囲内の下地温度の下で気相堆積法によって形成されたものであって100nm以上の平均結晶粒径を有し、光電変換ユニット11は透明導電性酸化物層103上にプラズマCVD法によって順次に堆積された1導電型層111と、結晶質シリコン系薄膜光電変換層112と、逆導電型層113とを含んでいる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に順次に積層された裏面電極、少なくとも1つの半導体光電変換ユニット、および前面透明電極を含み、

前記裏面電極は順次に積層された金属層と透明導電性酸化物層を含み、この透明導電性酸化物層は100～450℃の範囲内の下地温度の下でスパッタリング法、蒸着法およびCVD法のうちのいずれかの方法によって形成されたものであって100nm以上の平均結晶粒径を有し、

前記光電変換ユニットは前記透明導電性酸化物層上にプラズマCVD法によって順次に堆積された1導電型層と、結晶質シリコン系薄膜からなる光電変換層と、逆導電型層とを含むことを特徴とするシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項2】 前記透明導電性酸化物層は主成分として酸化亜鉛を含み、50nm～1μmの厚さと $1.5 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 以下の比抵抗を有することを特徴とする請求項1に記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項3】 前記光電変換層は400℃以下の下地温度の下に形成されたものであって、80%以上の体積結晶化分率と、1～30原子%の範囲内の水素含有量と、0.5～20μmの範囲内の厚さと、その膜面に平行な(110)の優先結晶配向面を有し、そのX線回折における(220)回折ピークに対する(111)回折ピークの強度比が0.2以下であることを特徴とする請求項1または2に記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項4】 前記シリコン系薄膜光電変換装置は前記光電変換ユニット上にさらに積層された少なくとも1つの非晶質シリコン系光電変換ユニットを含むタンデム型であることを特徴とする請求項1から3のいずれかの項に記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は薄膜光電変換装置に関し、特に、シリコン系薄膜光電変換装置の低コスト化と性能改善に関するものである。なお、本願明細書において、「結晶質」と「微結晶」の用語は、部分的に非晶質を含むものをも意味するものとする。

## 【0002】

【従来の技術】近年、たとえば多結晶シリコンや微結晶シリコンのような結晶質シリコンを含む薄膜を利用した光電変換装置の開発が精力的に行なわれている。これらの開発は、安価な基板上に低温プロセスで良質の結晶質シリコン薄膜を形成することによって光電変換装置の低コスト化と高性能化を両立させるという試みであり、太陽電池だけでなく光センサ等のさまざまな光電変換装置への応用が期待されている。

【0003】このような良質の結晶質シリコン薄膜を形成する方法としては、基板上に大結晶粒径のシリコン薄

膜の下地層を何らかのプロセスで形成した後に、この下地層をシード層または結晶化制御層として用いることによって、結晶粒界や粒内欠陥が少なくして1方向に強く結晶配向した良質の光電変換層となる結晶質シリコン薄膜をその下地層上に堆積させるという手法が知られている。具体的には、基板上に堆積されたシリコン膜をゾーンメルト法によって大結晶粒径化したものを下地層に用いる方法がSolar Energy Materials and Solar Cells, Vol.34, 1994, p.285に記載されており、また、基板上に堆積されたシリコン膜を固相成長法によって大粒径化したものを下地層に用いる方法がSolar Energy Materials and Solar Cells, Vol.34, 1994, p.257に記載されている。しかし、これらのいずれにおいても、下地層または光電変換層の形成に550℃以上の比較的に高温のプロセスを含んでいることから、用いられ得る基板の種類に制約がある。

【0004】他方、安価な低融点ガラスの基板を用いることができかつ熱膨張係数の差に基づく積層膜内の応力や歪みが生じにくい比較的低温のプロセスのみを用いる方法であって、優れた光電変換効率の結晶質シリコン系薄膜光電変換装置を形成し得る方法が近年脚光を浴びている。たとえば、微結晶シリコンのpin接合からなる光電変換ユニットを含む光電変換装置がAppl. Phys. Lett., Vol.65, 1994, p.860に記載されている。この光電変換ユニットは、簡便にプラズマCVD法で順次積層されたp型半導体層、光電変換層たるi型半導体層、およびn型半導体層からなり、これらの半導体層のすべてが微結晶シリコンであることを特徴としている。

【0005】また、金属層とその上に酸化亜鉛(ZnO)等の透明導電性酸化物層とを含む下地電極上にシリコン系光電変換ユニットを堆積させた光電変換層装置が近年数多く試みられており、たとえば特開平3-99477や特開平7-263731またはIEEE 1st World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion, p.405 (1994)やAppl. Phys. Lett., vol.70, 1997, p.2975などにおいて報告されている。このように、下地電極の金属層とシリコン系光電変換ユニットとの間に透明導電性酸化物層を介在させることによって、それらの間の熱膨張係数の相違による熱歪みを緩和しかつ金属原子がシリコン系光電変換ユニット内へ拡散して混入することを防止し得る。その結果、得られる光電変換装置の歩留まりと信頼性が向上するのみならず、光感度が改善されて光電変換特性も向上することが知られている。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】光電変換ユニットを構成するシリコン系薄膜のすべてを低温プロセスのみで形成しようとする場合、光電変換層のための下地層として、シード層となり得る大粒径結晶質シリコン薄膜を形成することは非常に困難である。そして、下地層の結晶構造や表面状態の如何によっては、結晶質シリコン系光

電変換層を形成するとき、その成長初期過程において必要以上に多数の結晶核を生じ、その結果として光電変換特性に悪影響を及ぼす結晶粒界や粒内欠陥の多い膜になりやすいという問題がある。また、下地層として金属層が用いられる場合には、結晶質シリコン系光電変換層の成長過程において金属原子が拡散によってその光電変換層内に不純物として混入してしまうという現象が生じる。

【0007】また、上述の先行技術中で、微結晶シリコンのp-i-n接合をプラズマCVD法にて低温で形成する光電変換ユニットでは、導電型微結晶シリコンが光電変換層の下地層になっているものの、これは単に光電変換層との材料的類似性を考慮したものであって、光電変換層の結晶性を積極的に制御しようとするためのものではない。また、ZnO等の透明導電性酸化物層を含む下地電極を利用する場合においても同様であって、その上に成長させられる結晶質シリコン系光電変換層の結晶性を制御して改善しようという意図は全くみられない。

【0008】上述のような先行技術の課題に鑑み、本発明の目的は、安価な基板が使用可能な低温プロセスのみを用いて形成されるシリコン系光電変換装置において、結晶質シリコン系薄膜光電変換層中の結晶粒界や粒内欠陥を低減させるとともに拡散による金属原子の混入を抑制することにより、光電変換特性を改善することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明によるシリコン系薄膜光電変換装置は、基板上に順次に積層された裏面電極、少なくとも1つの半導体光電変換ユニット、および前面透明電極を含み、裏面電極は順次に積層された金属層と透明導電性酸化物層を含み、この透明導電性酸化物層は100～450℃の範囲内の下地温度の下でスパッタリング法、蒸着法およびCVD法のうちのいずれかの方法によって形成されたものであって100nm以上の平均結晶粒径を有し、光電変換ユニットは透明導電性酸化物層上にプラズマCVD法によって順次に堆積された1導電型層と、結晶質シリコン系薄膜からなる光電変換層と、逆導電型層とを含むことを特徴としている。

【0010】すなわち、本発明発明者らは、上述の先行技術における課題を解決すべく検討を重ねた結果、光電変換ユニットに含まれる半導体層のすべてをプラズマCVD法にて低温で形成するシリコン系薄膜光電変換装置の場合に、下地電極に含まれる金属層上の透明導電性酸化物層の結晶性と表面状態をその形成条件により制御することによって、透明導電性酸化物層に堆積される光電変換ユニットへの金属原子の拡散を抑制できるとともに、光電変換層の成長初期過程における結晶核発生密度が適度に制御され、結晶粒界や粒内欠陥が少なくかつ1方向に強く結晶配向した良質の光電変換層が得られることを見出したのである。

【0011】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の第1の実施の形態によるシリコン系薄膜光電変換装置を模式的な断面図で図解している。この光電変換装置の基板1にはステンレス等の金属、有機フィルム、または低融点の安価なガラス等が用いられ得る。

【0012】基板1上の裏面電極10は、下記の金属薄膜(A)と透明導電性酸化膜(B)との組合せを含み、たとえば蒸着法、スパッタ法、CVD法等によって形成され得る。

(A) Ti、Cr、Al、Ag、Au、CuおよびPtから選択された少なくとも1以上の金属またはこれらの合金からなる層を含む金属薄膜。

(B) ITO、SiO<sub>2</sub>、およびZnOから選択された少なくとも1以上の酸化物の層を含む透明導電性薄膜。

【0013】裏面電極10の上表面1Aは、実質的に平坦であるか、または数百nmから数μm程度の間隔の微細な凹凸を含む表面テクスチャ構造を有している。このような裏面電極10の上面1Aにおけるテクスチャ構造は、たとえば表面が微細な凹凸を有するように加工された基板1上に裏面電極10を堆積するか、または裏面電極10に含まれる少なくとも1つの層が自然に微細な凹凸表面を生じる堆積条件で形成されることによって得ることができる。

【0014】光電変換ユニット11の下地として利用される透明導電性酸化物層103は100nm以上の平均結晶粒径を有することが望ましく、そのためには透明導電性酸化物層103を100℃以上の下地温度の下で形成することが好ましい。ただし、高い下地温度の下で形成された透明導電性酸化物層103はそれ自身が自然に凹凸表面を形成するが、下地温度が高すぎる場合には凹凸の高低差が大きすぎて凹部と凸部の角度が鋭くなって、その上に形成されるシリコン系光電変換ユニット11中の半導体接合が適正に形成され難くなり、光電変換装置の開放端電圧や歩留まりの低下を招いてしまう。また、あまりに高い温度の下では下地電極10に含まれる金属層102から金属原子が拡散して透明導電性酸化物層103内に混入されやすくなる。さらに、高温の下では低融点の安価なソーダライムガラスを用いることができないので、光電変換装置の低コスト化を図ることができなくなる。これらの理由から、透明導電性酸化物層103を形成する際の下地温度としては、450℃以下であることも望まれる。

【0015】また、透明導電性酸化物層103としては、前述の薄膜(B)の中でもZnOを主成分とする薄膜が特に好ましい。ZnOが特に好ましいのは、材料コストが安いという理由からだけでなく、その酸化膜103上にプラズマCVD法にて光電変換ユニットを形成する際の耐プラズマ性が高いという理由からでもある。ZnOを主成分とする透明導電性酸化膜は、50nm～1

$\mu\text{m}$ の範囲内の厚さと $1.5 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$ 以下の比抵抗を有することが好ましい。

【0016】裏面電極10上には、シリコン系光電変換ユニット11が形成される。この光電変換ユニット11に含まれるすべての半導体層が、 $400^\circ\text{C}$ 以下の下地温度の条件の下にプラズマCVD法によって堆積される。プラズマCVD法としては、一般によく知られている平行平板型のRFプラズマCVDを用い得る他、周波数が $150\text{MHz}$ 以下のRF帯からVHF帯までの高周波電源を利用するプラズマCVDを用いてもよい。

【0017】裏面電極10上には、まず光電変換ユニット11に含まれる1導電型層111が堆積される。この1導電型層111としては、たとえば導電型決定不純物原子であるリンがドーブされたn型シリコン系薄膜、またはボロンがドーブされたp型シリコン系薄膜などが用いられ得る。しかし、この1導電型層についてのこれらの条件は限定的なものではなく、不純物原子としては、たとえばn型層においては窒素等でもよく、また材料としては非晶質シリコンまたは非晶質シリコンカーバイドや非晶質シリコンゲルマニウム等の合金材料の他に、多結晶もしくは部分的に非晶質を含む微結晶のシリコンまたはその合金材料を用いることもできる。なお、望まれる場合には、堆積されたこのような1導電型層にパルスレーザ光を照射することにより、その結晶化分率や導電型決定不純物原子によるキャリア濃度を制御することもできる。

【0018】1導電型層111上には、光電変換層112として、結晶質シリコン系薄膜光電変換層が堆積される。この結晶質シリコン系光電変換層112としては、ノンドーブの真性半導体の多結晶シリコン薄膜や体積結晶化分率が80%以上の微結晶シリコン膜、または微量の不純物を含む弱p型もしくは弱n型で光電変換機能を十分に備えているシリコン系薄膜材料が用いられ得る。しかし、この光電変換層はこれらに限定されず、シリコンカーバイドやシリコンゲルマニウム等の合金材料を用いて形成されてもよい。

【0019】このような光電変換層112の厚さは $0.5 \sim 20 \mu\text{m}$ の範囲内にあり、これは結晶質シリコン系薄膜光電変換層として必要かつ十分な膜厚である。また、この結晶質光電変換層112は $400^\circ\text{C}$ 以下の低温で形成されるので、結晶粒界や粒内における欠陥を末端または不活性化させる水素原子を多く含み、その水素含有量は1~30原子%の範囲内にある。さらに、結晶質シリコン系薄膜光電変換層112に含まれる結晶粒の多くは下地層から上方に柱状に延びて成長しており、その膜面に平行に(110)の優先結晶配向面を有し、そのX線回折における(220)回折ピークに対する(111)回折ピークの強度比は0.2以下である。

【0020】結晶質光電変換層112上には、1導電型層111とは逆タイプの逆導電型層113としてのシリ

コン系薄膜が堆積される。この逆導電型層113としては、たとえば導電型決定不純物原子であるボロンがドーブされたp型シリコン系薄膜、またはリンがドーブされたn型シリコン系薄膜などが用いられ得る。しかし、この逆導電型層113についてのこれらの条件は限定的なものではなく、不純物原子としてはたとえばp型層においてはアルミニウム等でもよく、また材料としては非晶質シリコンまたは非晶質シリコンカーバイドや非晶質シリコンゲルマニウム等の合金材料の他に、多結晶もしくは部分的に非晶質を含む微結晶のシリコンまたはその合金材料を用いることもできる。

【0021】ここで、裏面電極10の表面1Aが実質的に平坦である場合でも、その上に堆積される光電変換ユニット11の上面1Bには、そのユニットの厚さよりも約1桁ほど小さな間隔の微細な凹凸を含む表面テクスチャ構造が形成される。また、裏面電極10の上面1Aが凹凸テクスチャ構造を有する場合、光電変換ユニット11の上面1Bのテクスチャ構造における微細な凹凸の平均間隔は、裏面電極10のそれと比べて約2/3以下に小さくなる。これは、光電変換ユニット11に含まれる結晶質光電変換層112がその堆積時に自然に凹凸テクスチャ構造を生じることによるものであり、これによって、光電変換ユニット11の上面1Bが、広範囲の波長領域の入射光を散乱させるのに一層適した微細な表面凹凸テクスチャ構造になり、光電変換装置における光閉じ込め効果も大きくなる。

【0022】光電変換ユニット11の積層が終了した後に、ITO、 $\text{SiO}_2$ および $\text{ZnO}$ から選択された1以上の層を含む透明導電性酸化膜2が前面電極として形成される。さらに、この前面電極2上のグリッド電極3として、Al、Ag、Au、CuおよびPtから選択された少なくとも1以上の金属またはこれらの合金の層を含む櫛型状の金属電極が形成されて光電変換装置が完成する。このようなシリコン系薄膜光電変換装置において、光電変換されるべき光4は透明前面電極2側から照射される。

【0023】図2は、本発明の第2の実施の形態によるタンデム型シリコン系薄膜光電変換装置を模式的な断面図で図解している。図2のタンデム型光電変換装置においては、図1の場合と同様に基板1上の複数の層201~203および211~213が、図1の基板1上の複数の層101~103および111~113に対応して同様に形成される。しかし、図2のタンデム型光電変換装置においては、第1の光電変換ユニット21上に重ねて第2の光電変換ユニット22がさらに形成される。第2の光電変換ユニット22は、第1の光電変換ユニット21上に順次積層された1導電型の微結晶または非晶質のシリコン系薄膜221、実質的に真性半導体である非晶質シリコン系薄膜光電変換層222、および逆導電型の微結晶または非晶質のシリコン系薄膜223を含んで

いる。第2の光電変換ユニット22上には、前面透明電極2および櫛型金属電極3が図1の場合と同様に形成され、これによって図2のタンデム型光電変換装置が完成する。

#### 【0024】

【実施例】以下において、本発明のいくつかの実施例によるシリコン系薄膜光電変換装置が比較例による光電変換装置とともに説明される。

【0025】（実施例1）図1を参照して説明された第1の実施の形態に対応して、シリコン薄膜光電変換装置が実施例1として作製された。この実施例1においては、ガラス基板1上に裏面電極10が形成された。裏面電極10は、100℃の下地温度の条件の下で順次に堆積された厚さ20nmのTi層101、厚さ300nmのAg層102、および厚さ100nmのZnO層103を含んでいる。裏面電極10上には、シリコン薄膜光電変換ユニット11に含まれるn型層111、ノンドープの光電変換層112、およびp型層113がプラズマCVD法によって形成された。また、光電変換ユニット11上の前面電極2としては厚さ80nmの透明導電性ITO膜が形成され、その上に電流取出し用の櫛型Ag電極3が形成された。

【0026】裏面電極10に含まれる透明導電性酸化膜であるZnO膜103は、RFスパッタ法によって堆積させられた。このときのスパッタ条件としては、Arのスパッタガス、 $3 \times 10^{-3}$  Torrの圧力、850mW/cm<sup>2</sup>のRFパワー密度、および300℃の下地温度が用いられた。得られたZnO膜103は、180μmの平均粒径と、 $8.7 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ の比抵抗を有して\*

\*いた。

【0027】また、光電変換ユニット11に含まれるノンドープの結晶質光電変換層112は300℃の下地温度の下でRFプラズマCVD法によって堆積され、その膜厚は3.0μmにされた。この結晶質光電変換層112において、2次イオン質量分析法によって求められた水素含有量は2.3原子%であり、X線回折における（220）回折ピークに対する（111）回折ピークの強度比は0.084であった。

10 【0028】このような実施例1による光電変換装置に入射光4としてAM1.5の光を100mW/cm<sup>2</sup>の光量で照射したときの出力特性においては、開放端電圧が0.531V、短絡電流密度が26.6mA/cm<sup>2</sup>、曲線因子が76.8%、そして変換効率が10.8%であった。

20 【0029】（実施例2～6および比較例1～2）実施例2～6および比較例1～2においては、RFスパッタ法によりZnO膜103を形成する際の下地温度が種々に変えられたこと以外は、実施例1と同じ方法と条件の下でシリコン薄膜光電変換装置が作製された。得られたZnO膜103の平均結晶粒径と比抵抗、結晶質シリコン系光電変換層112のX線回折における（220）回折ピークに対する（111）回折ピークの比、および光電変換装置の種々の光電変換特性が表1に示されている。なお、表1においては、実施例1に関する結果も示されている。

#### 【0030】

【表1】

No.	ZnO膜 形成時 温度 (℃)	ZnO膜 平均 粒径 (nm)	ZnO膜 比抵抗 ( $\Omega \text{cm}$ )	光電変換層 X線回折 ピーク比 (111)/(220)	開放端 電圧 (V)	短絡 電流 密度 (mA/cm <sup>2</sup> )	曲線 因子 (%)	変換 効率 (%)
実施例1	300	180	$8.7 \times 10^{-4}$	0.084	0.531	26.6	76.8	10.8
実施例2	100	100	$1.5 \times 10^{-3}$	0.20	0.509	26.1	75.5	10.0
実施例3	150	130	$1.2 \times 10^{-3}$	0.14	0.518	26.5	76.1	10.4
実施例4	200	150	$9.6 \times 10^{-4}$	0.098	0.529	26.5	76.3	10.7
実施例5	400	240	$7.8 \times 10^{-4}$	0.072	0.533	27.0	76.8	11.0
実施例6	450	270	$7.5 \times 10^{-4}$	0.085	0.514	26.9	76.6	10.6
比較例1	50	70	$1.9 \times 10^{-3}$	0.28	0.484	25.1	74.2	9.0
比較例2	500	290	$7.4 \times 10^{-4}$	0.22	0.467	26.0	75.2	9.1

【0031】表1中の比較例1からわかるように、ZnO膜103の形成温度が50℃のように低い場合には、平均結晶粒径が小さくて比抵抗も高い低品位のZnO膜しか得られない。また、比較例1においては結晶質シリコン系光電変換層112のX線回折における（111）／（220）回折ピーク比も大きくて結晶配向性も低下しており、結晶質シリコン膜が成長する際に下地としての異種材料のZnO膜103の結晶品質が影響していることがわかる。すなわち、比較例1のZnO膜103においては数十nmの小さな結晶粒が多数存在している

ので、この上に結晶質シリコン膜を成長させる初期過程においてシリコン結晶核が必要以上に数多く発生する。その結果、結晶質光電変換層112内には、光電変換特性に悪影響を及ぼす結晶粒界や粒内欠陥が数多く含まれることになる。このような比較例1に比べて、表1中の実施例1～6から明らかなように、ZnO膜103の形成温度が100℃以上であれば、ZnO膜103の平均結晶粒径が増大しかつ比抵抗が減少し、それにつれて結晶質シリコン膜112の結晶配向性が向上するとともに、光電変換装置の変換効率も改善されている。

【0032】他方、比較例2からわかるように、ZnO膜103の形成温度が500℃のように高い場合では、ZnO膜自身の結晶粒径と比抵抗は改善されるが、結晶質シリコン膜112の品質および光電変換装置の変換効率がかえって低下する。高い下地温度の下で形成されたZnO膜103はそれ自身が自然に凹凸表面を形成するが、それらの凹凸の高低差が大きすぎて凹部と凸部の角度が鋭くなれば、その上に形成される光電変換ユニットに含まれる半導体接合が適正に形成され難くなり、光電変換装置の開放端電圧や歩留まりの低下を招く。また、

高温の下では、ZnO膜103の下層のAg膜102から金属原子が拡散して結晶質シリコン膜112内へ混入されやすくなる。さらに、500℃のような高温度のプロセスでは、結晶質シリコン膜112の品質とは直接関係しないものの、低融点のソーダライムガラスの基板1を用いることができないので、光電変換装置の低コスト化が図れなくなる。

【0033】以上の理由から、裏面電極10中の透明導電性酸化物層103としてZnO層を形成する際の下地温度は、100～450℃の範囲内にあることが好ましい。なお、上述の実施例において裏面電極10に含まれる透明導電性酸化物層103としてZnO膜がスパッタ法で形成されたが、透明導電性酸化膜(B)として例示された他の材料が用いられてもよく、また、スパッタ法のみならず真空蒸着法やCVD法によって形成されてもよい。

【0034】(実施例7)図2を参照して説明された本発明の第2の実施の形態に対応して、実施例7としてタンデム型光電変換装置が作製された。この実施例7のタンデム型光電変換装置においては、ガラス基板1上の要素201～203および211～213が、実施例1の対応する要素101～103および111～113と同様に形成された。しかし、実施例3のタンデム型光電変換装置においては、第1の光電変換ユニット21上に、第2の光電変換ユニット22がさらに積層された。この第2の光電変換ユニット22は、n型層221、非晶質シリコン系光電変換層222、およびp型層223を含んでいる。非晶質光電変換層222の厚さは、300nmにされた。第2の光電変換ユニット22上には、実施

例1の場合と同様に、透明前面電極2と櫛型Ag電極3が形成された。

【0035】このような実施例7による非晶質シリコン／結晶質シリコン型のタンデム型光電変換装置に対して入射光4としてAM1.5の光を100mW/cm<sup>2</sup>の光量で照射したときの出力特性としては、開放端電圧が1.40V、短絡電流密度が13.0mA/cm<sup>2</sup>、曲線因子が73.3%、そして変換効率が13.3%であった。

【0036】以上のように、本発明によれば、安価な基板を用いながらも結晶質シリコン系光電変換層を高品質化することができ、シリコン系薄膜光電変換装置の低コスト化と高性能化に大きく貢献することができる。

【図面の簡単な説明】

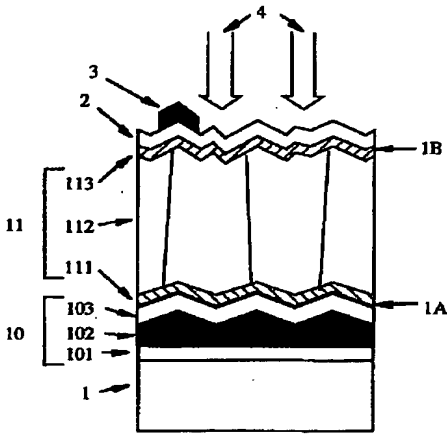
【図1】本発明の第1の実施の形態による結晶質シリコン系薄膜光電変換装置の一例を示す模式的な断面図である。

【図2】本発明の第2の実施の形態による非晶質シリコン／結晶質シリコン型のタンデム型光電変換装置の一例を示す模式的な断面図である。

【符号の説明】

- 1：ガラス等の基板
- 2：透明導電性酸化膜
- 3：櫛型電極
- 4：照射光
- 10、20：裏面電極
- 11、21：結晶質シリコン系光電変換ユニット
- 22：非晶質シリコン系光電変換ユニット
- 101、201：たとえばTi等の金属膜
- 102、202：たとえばAg等の金属膜
- 103、203：たとえばZnO等の透明導電性酸化物層
- 111、211、221：n型層
- 112、212：結晶質シリコン系光電変換層
- 222：非晶質シリコン系光電変換層
- 113、213、223：p型層
- 1A、2A：下地電極の上表面
- 2A、2B：結晶質シリコン系光電変換ユニットの上表面

【図 1】



【図 2】

